

農業集水域からの汚濁物質流出特性 (II)

—— 水質項目の統計的考察 ——

武田 育郎*

Pollution Loading Outflows from an Agricultural Basin (II) —— A Statistical Analysis in the Concentrations —— Ikuo TAKEDA

Synopsis The concentrations were classified by the multiple regression analysis and the factor analysis, monitored at the forest, the irrigation canal, the drainage canal and the lowest end of the agricultural basin. And the seasonal variations were analyzed by the principal component analysis.

Generally, EC, Na⁺ and Cl⁻ were classified in the groups by the multiple regression analysis and the factor analysis. And T-COD and T-P (PO₄-P) were also classified. In the multiple regression analysis, the concentration groups at the lowest end were more complicated than those at others. The pollution during the irrigation period in 1989 was more serious than 1988, comparing the first principal component scores.

I. はじめに

前報¹⁾では、農業集水域を対象とした水質調査の結果から、渓流水、水田用水、水田排水、集水域末端の水質と負荷量(水田用水負荷量と集水域末端の流出負荷量)を示した。しかし、それぞれの採水地点の水質項目の平均値や変動グラフだけでは、農業集水域における水質変化機構を把握することは困難である。

本論文では、重回帰分析と因子分析を用いて、それぞれの採水地点の水質項目をグループ化し、農業集水域内での水質変化機構を統計的に把握することを試みた。また、主成分分析によって採水地点ごとの水質の時期的な変動等について考察した。

なお、統計解析には、前報¹⁾で示した晴天時のデータより、1988年灌漑期の水田用水、水田排水、集水域末端、非灌漑期の溪流、集水域末端、1989年灌漑期の溪流、水田用水、水田排水、集水域末端のデータセットについて考察した。なお、1988年灌漑期の渓流水の水質は、データ数が不十分なので解析しなかった。解析は、「多変量統計解析法」²⁾付属のプログラムに基づいて行った。

II. 解析方法

1. 重回帰分析

重回帰分析は、ある変数 y を、それに影響を及ぼすと

考えられる他の変数 x_1, x_2, \dots, x_p を用いて予測する一つの方法であり、どの変数が予測に寄与しているかという観点から要因分析にも用いられる。

本解析では、目的変数を T-N, NH₄-N, NO₃-N, T-P, PO₄-P, T-COD, EC とした。そして、それぞれの説明変数には、T-N, NH₄-N, NO₃-N, T-P, PO₄-P, T-COD, EC, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SiO₂-Si から選んだ。説明変数の選択は、Stepwise 法によった。また、偏回帰係数の検定には、危険率 5% 以下の基準を用いた。

2. 因子分析

因子分析法は、多数の変量の持っている情報を、少数個の潜在的な因子に集約する 1 つの統計的手法である。本解析では、上述のデータセットについて、因子負荷量の値を基に、各水質項目のグループ化を試みた。

解析に当たって、それぞれのデータセットの因子数は、相関行列の固有値の中で 1 より大きい固有値の数とした。また、得られた因子負荷量は、解釈を容易にするためバリマックス法によって軸を回転した。

3. 主成分分析

主成分分析法は、多くの変量の値をできるだけ情報の損失なしに 1 つ、または少数個の総合指標(主成分)で代表させる方法である。本解析では、前報¹⁾で示した各期の平均濃度を用いて、採水地点ごとの水質の時期的変動などを考察した。解析には、各水質指標について平均＝

* 農村工学講座

0, 分散=1に標準化したものを用いた。

III. 結果と考察

1. 重回帰分析による水質グループ

解析によって得られた重回帰式を用いて、それぞれの地点の水質項目をグループ化した(図1)。ここでは、1つの回帰式に選択された説明変数と目的変数を1つの円内にグループとしてまとめた。円の重複部分にある水質項目は両方のグループに属するものである。なお、円の重複部分の面積の大小に意味はない。また、偏回帰係数がマイナスとなった水質指標はグループに含めなかった。

これを見ると、全体的にECとNa⁺、あるいはCl⁻が同一グループに分類されているものが多いことがわかる。集水域の水田用水中のNa⁺、Cl⁻平均濃度は、Na⁺=64.9mg/l(1988年灌漑期)、64.4mg/l(1989年灌漑期)、Cl⁻=89.7mg/l、95.8mg/lとかなり高い¹⁾。これは、思川流域の工場排水、あるいは家庭排水に起因するものと考えられるが、この影響で水田排水、集水域末端も高濃度となっていた¹⁾。溪流と非灌漑期の集水域末端でもこれらの水質項目が同一グループに分類されたが、濃度レベルは比較的低い傾向にあった¹⁾。汚濁物質では、T-CODとT-P(あるいはPO₄-P)が同一グループになる傾向にあった。このほか、水田排水では、T-NとNH₄-N、NO₃-NとSiO₂-Siが1988年灌漑期、1989年灌漑期とも同一グループに分類された。また、水質グループ間のつながりは、水田排水、集水域末端の方が、溪流、水田用水よりも複雑になる傾向にあった。

2. 因子分析による水質グループ

因子分析の一例として、1988年灌漑期の因子負荷量を、I-II平面、I-III平面、II-III平面にプロットしたものを図2に示した。ここでは、[NH₄-N、T-N、K⁺]、[EC、Na⁺、Cl⁻]、[PO₄-P、T-P、T-COD]を1つのグループとした。

こうした因子負荷量のプロットを全てのデータセットについて行い、図3のような水質のグループ化を行った。ここに示すように、全体的にEC、Na⁺、Cl⁻が同一の水質グループに含まれる傾向にあった。非灌漑期の集水域末端では、ECとNO₃-Nが同一グループになっていた。また、T-CODと栄養塩(特にT-P、PO₄-P)も同一グループに含まれる傾向にあった。こうしたことは、重回帰分析の結果と共通していた。ただし、重回帰分析では、水質グループ間のつながりが水田排水、集水域末端において溪流、水田用水よりも複雑になっていたが、因子分析ではその傾向はみられなかった。

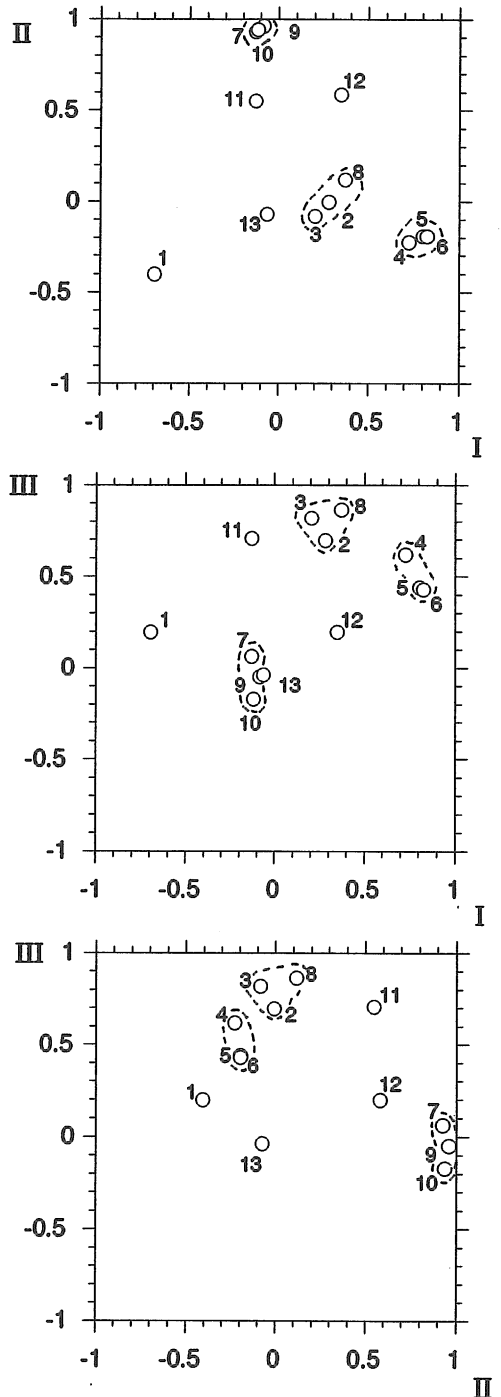


図2 集水域末端(1988年灌漑期)の因子負荷量
 1 : NO₃-N 2 : NH₄-N 3 : T-N
 4 : PO₄-P 5 : T-P 6 : T-COD
 7 : EC 8 : K⁺ 9 : Na⁺ 10 : Cl⁻
 11 : Ca²⁺ 12 : Mg²⁺ 13 : SiO₂-Si

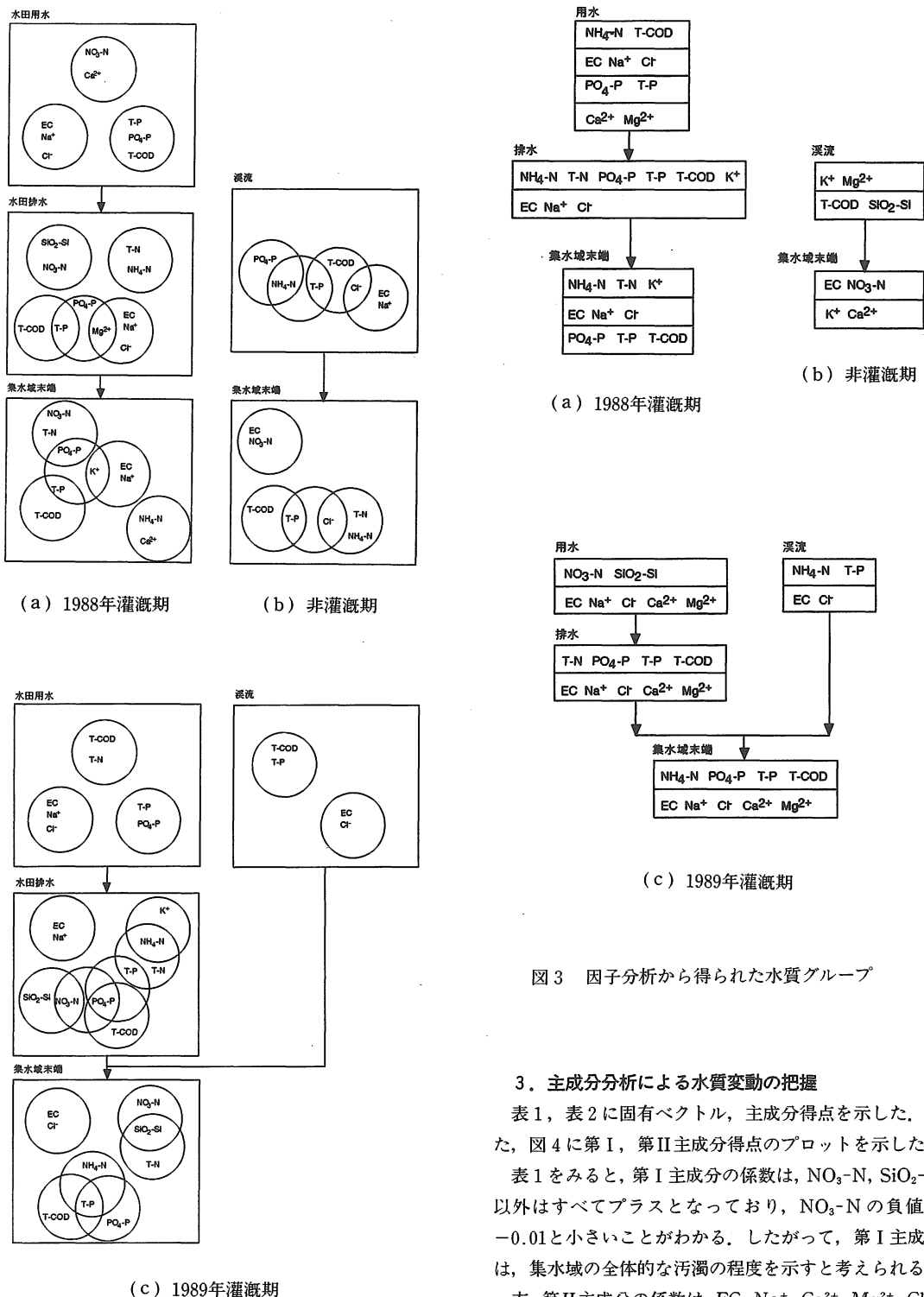


図1 重回帰分析から得られた水質グループ

図3 因子分析から得られた水質グループ

3. 主成分分析による水質変動の把握

表1, 表2に固有ベクトル, 主成分得点を示した。また, 図4に第I, 第II主成分得点のプロットを示した。表1をみると, 第I主成分の係数は, NO₃-N, SiO₂-Si以外はすべてプラスとなっており, NO₃-Nの負値は-0.01と小さいことがわかる。したがって, 第I主成分は, 集水域の全体的な汚濁の程度を示すと考えられる。一方, 第II主成分の係数は, EC, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SiO₂-Siでマイナス, その他の項目でプラスとなった。したがって, 栄養塩等の濃度が高いか, EC, Na²⁺, Ca²⁺,

表1 固有ベクトルと固有値

水質項目	第I主成分	第II主成分	第III主成分
T-N	0.21	0.26	-0.15
NH ₄ -N	0.25	0.24	0.31
NO ₃ -N	-0.01	0.41	-0.47
T-P	0.27	0.18	0.26
PO ₄ -P	0.22	0.19	0.33
T-COD	0.05	0.26	0.56
EC	0.31	-0.13	-0.07
K ⁺	0.31	0.09	0.02
Na ⁺	0.29	-0.15	-0.15
Ca ²⁺	0.31	-0.12	-0.11
Mg ²⁺	0.31	-0.09	-0.11
Cl ⁻	0.30	-0.15	-0.06
SiO ₂ -Si	-0.28	-0.11	0.25
固有値	9.78	2.49	2.26
寄与率(%)	61.1	15.5	14.1
累積寄与率(%)	61.1	76.7	90.8

表2 主成分得点

地点	期間	第I主成分	第II主成分	第III主成分
溪流	非灌漑期	-4.31	0.63	0.53
	1989年灌漑期	-4.03	-1.10	1.33
水田用水	1988年灌漑期	2.38	-1.31	-1.31
	1989年灌漑期	1.00	-1.40	-1.75
水田排水	1988年灌漑期	3.10	-1.07	0.11
	1989年灌漑期	5.10	1.55	2.96
集水域末端	1988年灌漑期	1.29	-0.57	-1.44
	非灌漑期	-1.93	3.63	-1.85
	1989年灌漑期	1.10	0.92	0.03

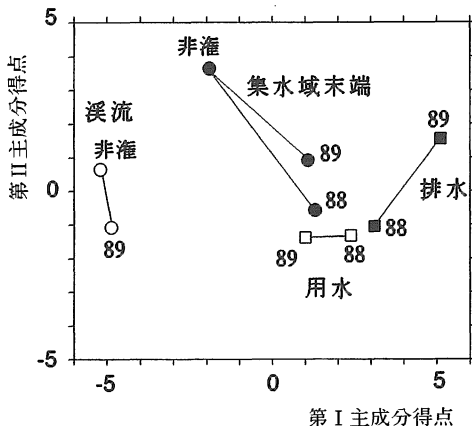


図4 各採水地点の主成分得点
88:1988年灌漑期, 非灌:非灌漑期
89:1989年灌漑期

Mg²⁺, Cl⁻, SiO₂-Si 濃度が低いと第II主成分得点が高くなることになる。第III主成分の係数については、どのような意味があるのかよくわからなかった。

図3では、横軸方向の採水地点の並びから、全体的な汚濁程度は、水田排水>水田用水・集水域末端>溪流の順であることがわかる。时期的な変動をみると、集水域末端の第I主成分得点は灌漑期の方が非灌漑期よりも高い。一方、第II主成分得点は非灌漑期の方が高い。このことは、平均水質、経時グラフにみられたように、非灌漑期にはEC, Na⁺, Ca²⁺, Cl⁻などの濃度が低く、NO₃-NやT-N, T-CODの濃度が比較的高い傾向にあることによるといえる。溪流については、あまり大きな时期的変動はなかった。水田用水は、1989年灌漑期の方が1988年よりも全体的に水質レベルが低かった。一方、水田排水は、1989年灌漑期の方が1988年よりも第I主成分得点、第II主成分得点とも高くなっていた。

IV. 要約

本論文では、統計手法(重回帰分析, 因子分析, 主成分分析)を用いて、農業集水域における、溪流, 水田用水, 水田排水, 集水域末端の水質特性を考察し、次のことが明らかとなった。

- 1) 重回帰分析と因子分析では、概して[EC, Na⁺, Cl⁻], [T-COD, T-P, あるいはPO₄-P]が同一グループに分類される傾向にあった。
- 2) 重回帰分析では、水質グループのつながりが、水田排水, 集水域末端において溪流, 水田用水よりも複雑になる傾向にあった。
- 3) 主成分分析では、第I主成分は、集水域の全体的な汚濁の程度を示すと考えられた。また、第II主成分得点は、栄養塩等の濃度が高いか、EC, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SiO₂-Si 濃度が低いと高くなった。

なお、本論文では晴天時のみのデータしか対象としていないので、さらに議論を深めるためには降雨時の水質についても考慮する必要がある。

最後に、本研究をすすめるに当たりご指導賜った、京都大学農学部・丸山利輔教授、滋賀県立短期大学農業部・國松孝男教授、また、統計解析にご協力頂いた京都大学農学部学生・荒川伸人氏(現:農林水産省)に心よりの謝意を表します。

引用文献

- 1) 武田育郎: 島大農研報 25: ***-***, 1991.
- 2) 田中豊・脇本和昌: 多変量統計解析法, 現代数学社, 1983.